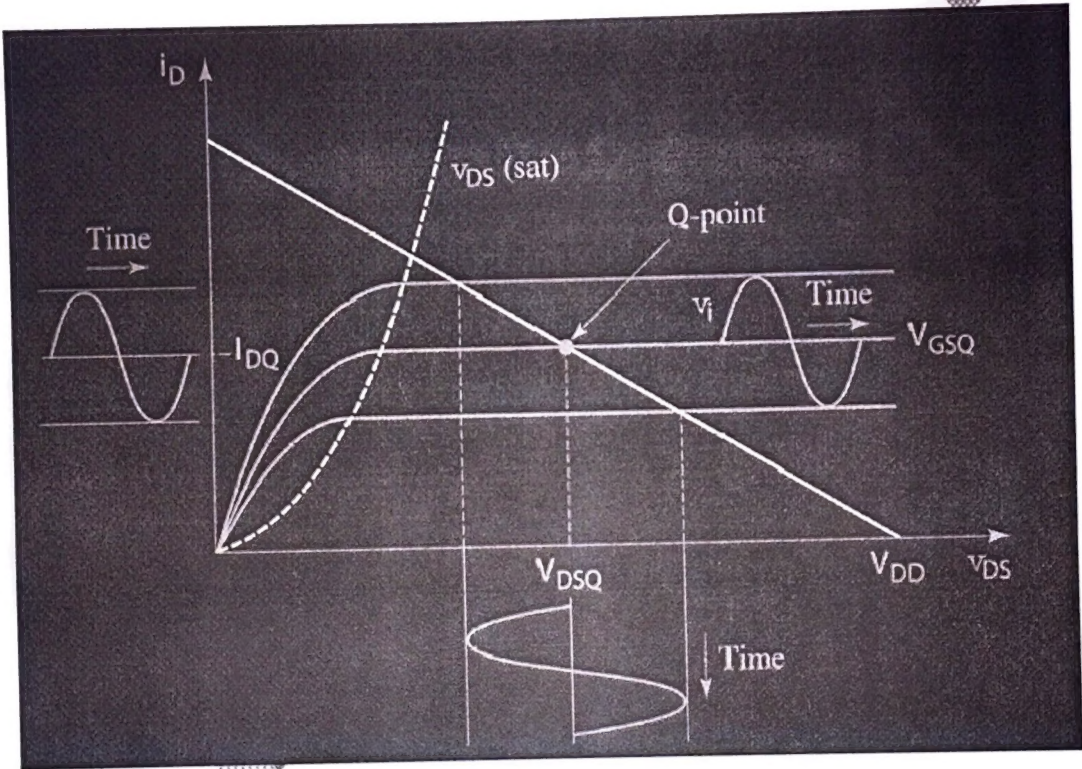


دوائر مختلفة لتحيز الترانزستور ثنائي القطبية

Miscellaneous Bias Configuration



أ.م محمد علي بلحاج

دوائر تحييز متفرقة – Miscellaneous Bias Configuration :

سنتناول مجموعة اخرى من دوائر التحييز لا تخضع لتسلسل انماط التحليل للدوائر التي سبق التعرف عليها ولكنها لا تختلف عنها كثيرا ويجب الانتباه الى الاختلافات بينها واخذ تلك الاختلافات في تعديل المعادلات التي استخدمت في السابق:

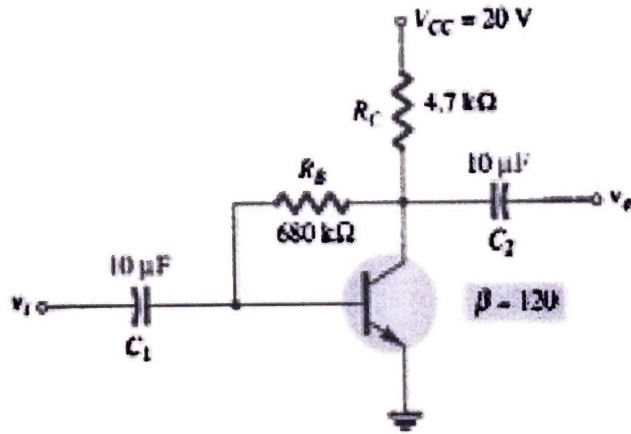
1- دائرة التحييز عن طريق التغذية الخلفية بدون مقاومة الباعث R_E

الدائرة المبينة في الشكل التالي هي عبارة عن دائرة تحييز باستخدام التغذية المرتدة بدون وجود المقاومة R_E .

هناك طريقتان للحل هما:

- الحل التفصيلي لدائرتي الدخل والخرج وايجاد المعادلات الخاصة بكل معامل (التيارات والجهود) وتحديد نقطة التشغيل واختبار استقرارية الدائرة نتيجة للتغير في المعامل β .
- يتم استخدام المعادلات التي تم الحصول عليها في السابق بعد اجراء التعديلات المناسبة من خلال حذف او اضافة العناصر المختلفة واستكمال التحليل بنفس الوتيرة.

في هذه الدائرة سوف نقوم باستخدام الاسلوب الثاني وهو اجراء التعديلات على المعادلات التي تم اثباتها حسب الحالة التي عليها الدائرة.



دائرة تحييز تغذية مرتدة بدون المقاومة R_E

المطلوب ايجاد الاتي:

يتم حذف المقاومة R_E من معادلة تيار القاعدة بحيث تصبح على النحو التالي:

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta R_C} \\
 &= \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{680 \text{ k}\Omega + (120)(4.7 \text{ k}\Omega)} = \frac{19.3 \text{ V}}{1.244 \text{ M}\Omega} \\
 &= 15.51 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{C_Q} &= \beta I_B = (120)(15.51 \mu\text{A}) \\
 &= 1.86 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CE_Q} &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= 20 \text{ V} - (1.86 \text{ mA})(4.7 \text{ k}\Omega) \\
 &= 11.26 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$V_B = V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

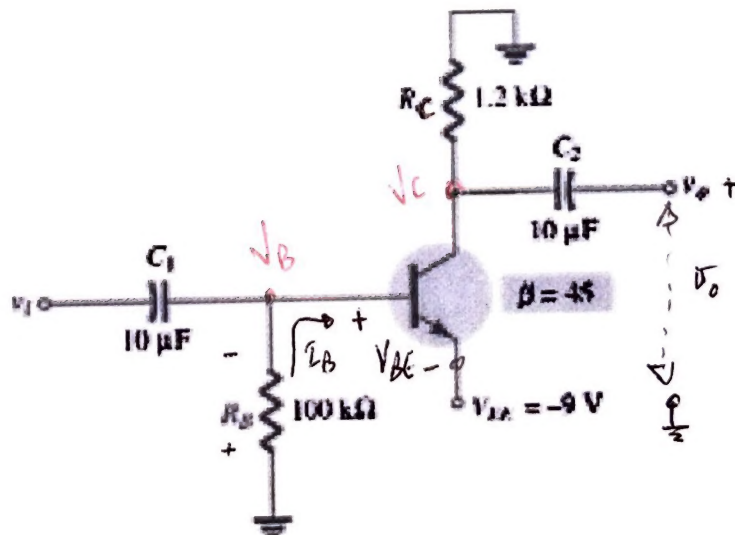
$$V_C = V_{CE} = 11.26 \text{ V}$$

$$V_E = 0 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 V_{BC} &= V_B - V_C = 0.7 \text{ V} - 11.26 \text{ V} \\
 &= -10.56 \text{ V}
 \end{aligned}$$

2- دائرة تحيز بوجود مصدر جهد موصل مع الباعث

اوجد الجهد V_C والجهد V_B للدائرة المبينة في الشكل التالي:



الحل:-

هذه الدائرة تحوي الاتي:

- مصدر جهد موصل مع الباعث
 - المجمع موصل بالارضى عن طريق المقاومة R_C
- بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة الدخل (حلقة القاعدة الباعث) نحصل على المعادلة التالية:

$$-I_B R_B - V_{BE} + V_{EE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{9 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega}$$

$$= \frac{8.3 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega}$$

$$= 83 \mu\text{A}$$

بعد الحصول على تيار القاعدة يمكن حساب تيار المجمع

$$I_C = \beta I_B$$

$$= (45)(83 \mu\text{A})$$

$$= 3.735 \text{ mA}$$

$$V_C = -I_C R_C$$

$$= -(3.735 \text{ mA})(1.2 \text{ k}\Omega)$$

$$= -4.48 \text{ V}$$

$$V_B = -I_B R_B$$

$$= -(83 \mu\text{A})(100 \text{ k}\Omega)$$

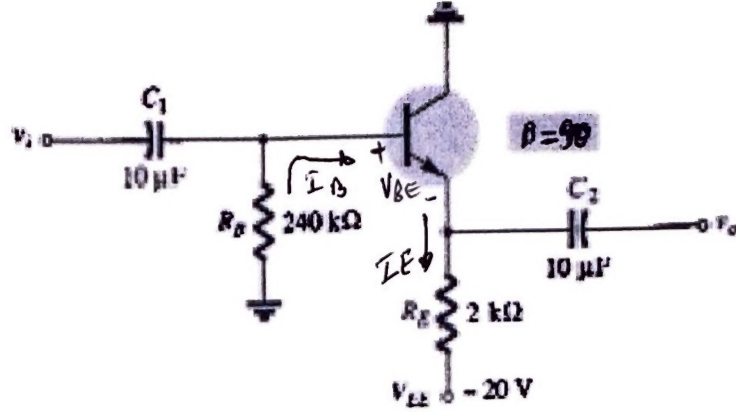
$$= -8.3 \text{ V}$$

3- دائرة (emitter-follower) :-

هذه الدائرة من الدوائر المهمة في المضخمات حيث ان انها تتميز بان جهد الخرج يتبع جهد الدخل ولهما نفس الازاحة (نفس الطور). لو تفحصنا الدائرة نجد ان:

- المجمع موصل بالارضى مباشرة
- مصدر الجهد المستمر موصل بالباعث عن طريق المقاومة R_E

المطلوب ايجاد V_{CEQ} والتيار I_E



الحل:-

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الدخل (حلقة القاعدة الباعث) نحصل على الاتي:

$$-I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E + V_{EE} = 0$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$V_{EE} - V_{BE} - (\beta + 1) I_B R_E - I_B R_B = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

$$I_B = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega + (91)(2 \text{ k}\Omega)}$$

$$= \frac{19.3 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega + 182 \text{ k}\Omega} = \frac{19.3 \text{ V}}{422 \text{ k}\Omega}$$

$$= 45.73 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$= (90)(45.73 \mu\text{A})$$

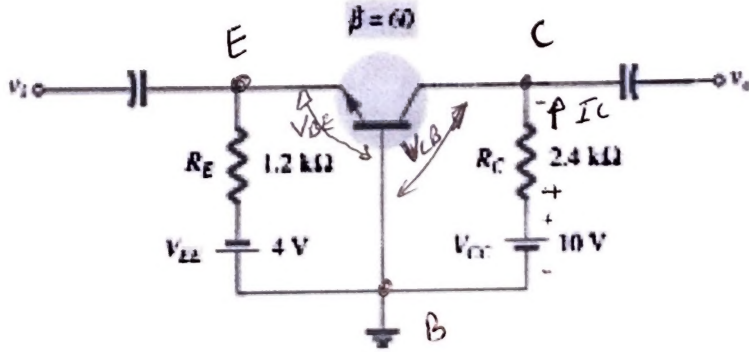
$$= 4.12 \text{ mA}$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الخرج (حلقة المجمع الباعث) نحصل على الاتي:

$$\begin{aligned}
 -V_{EE} + I_E R_E + V_{CE} &= 0 \\
 I_E &= (\beta + 1)I_B \\
 V_{CE_Q} &= V_{EE} - (\beta + 1)I_B R_E \\
 &= 20 \text{ V} - (91)(45.73 \mu\text{A})(2 \text{ k}\Omega) \\
 &= 11.68 \text{ V} \\
 I_E &= 4.16 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

4- دائرة القاعدة المشتركة

الدوائر السابقة التي قمنا بتحليلها كانت اما دائرة الباعث المشترك او المجمع المشترك هذه المرة سوف نتناول بالتحليل دائرة القاعدة المشتركة كما هي مبينة في الشكل التالي:



المطلوب إيجاد الجهد V_{CB} والتيار I_B .

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الدخل نحصل على الاتي:

$$-V_{EE} + I_E R_E + V_{BE} = 0$$

$$I_E = \frac{4 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1.2 \text{ k}\Omega} = 2.75 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

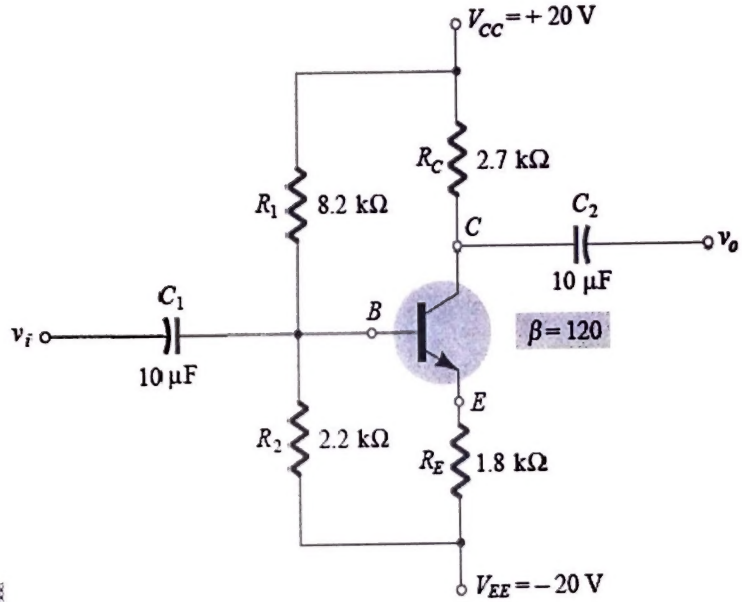
بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة الخرج نحصل على الاتي:

$$\begin{aligned}
 -V_{CB} + I_C R_C - V_{CC} &= 0 \\
 V_{CB} &= V_{CC} - I_C R_C \text{ with } I_C \cong I_E \\
 &= 10 \text{ V} - (2.75 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega) \\
 &= 3.4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

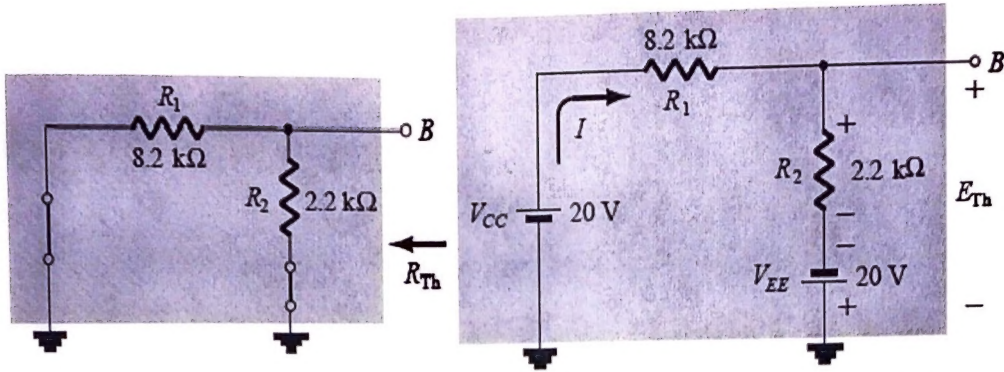
$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{I_C}{\beta} \\
 &= \frac{2.75 \text{ mA}}{60} \\
 &= 45.8 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

5- دائرة مجزئي الجهد وبها مصدرى جهد مستمر

للدائرة المبينة في الشكل اوجد جهد المجمع V_C وجهد القاعدة V_B .



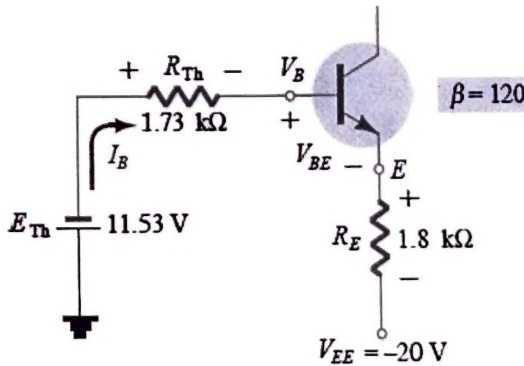
في البداية نحاول الحصول على مسار توالي لدائرة الدخل وذلك عن طريق إيجاد مقاومة ثيفنن وجهد ثيفنن على النحو التالي:



$$R_{Th} = 8.2 \text{ k}\Omega \parallel 2.2 \text{ k}\Omega = 1.73 \text{ k}\Omega$$

$$I = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_1 + R_2} = \frac{20 \text{ V} + 20 \text{ V}}{8.2 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega} = \frac{40 \text{ V}}{10.4 \text{ k}\Omega} = 3.85 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} E_{Th} &= IR_2 - V_{EE} \\ &= (3.85 \text{ mA})(2.2 \text{ k}\Omega) - 20 \text{ V} \\ &= -11.53 \text{ V} \end{aligned}$$



يتم رسم دائرة الدخل بناء على النتائج السابقة كما هي مبينة في الشكل المقابل وتستخدم العلاقة

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الدخل يمكننا حساب تيار القاعدة كما يأتي:

$$V_{EE} - E_{Th} - V_{BE} - (\beta + 1)I_B R_E - I_B R_{Th} = 0$$

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{V_{EE} - E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} \\
 &= \frac{20 \text{ V} - 11.53 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1.73 \text{ k}\Omega + (121)(1.8 \text{ k}\Omega)} \\
 &= \frac{7.77 \text{ V}}{219.53 \text{ k}\Omega} \\
 &= 35.39 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_C &= \beta I_B \\
 &= (120)(35.39 \mu\text{A}) \\
 &= 4.25 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= 20 \text{ V} - (4.25 \text{ mA})(2.7 \text{ k}\Omega) \\
 &= 8.53 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_B &= -E_{Th} - I_B R_{Th} \\
 &= -(11.53 \text{ V}) - (35.39 \mu\text{A})(1.73 \text{ k}\Omega) \\
 &= -11.59 \text{ V}
 \end{aligned}$$

عمليات تصميم الدوائر - Design Operations :-

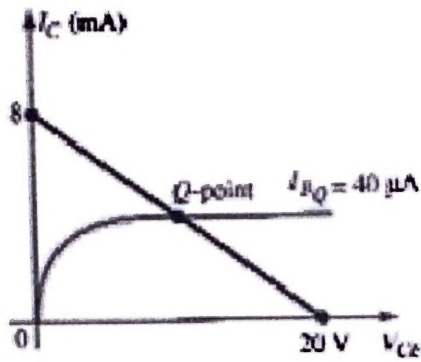
- لقد تناولنا فيما سبق وبشكل مركز عمليات تحليل الدوائر المعروفة والمحددة بمعرفة كل العناصر التي كانت معطاة وبالتالي كان من السهل تحليل تلك الدوائر وإيجاد مستويات الجهد والتيار لتلك الدوائر.
- عمليات التصميم تتم بمعرفة مستويات التيارات والجهود المطلوبة دون اعطاء قيم لعناصر الدائرة - والمطلوب تصميم وحساب قيمة تلك العناصر التي تحقق تلك المستويات من الجهد والتيار.
- طريقة التصميم تتطلب معرفة واضحة لكل من
 - خصائص النبيلة (الترانزستور في هذه الحالة)
 - المعادلات الأساسية للدائرة
 - المعرفة الراسخة لقوانين تحليل الدوائر مثل (قانون اوم - قانون كيرشوف - الخ).
- الطريق الى الحل ليس معرف بشكل كبير وفي الحقيقة ربما نحتاج الى وضع مجموعة من الفرضيات الأساسية والمناسبة التي لم يسبق لنا التعرض لها عند تناولنا تحليل الدوائر.
- تسلسل عمليات التصميم حساس بشكل واضح الى المكونات المحددة سلفاً والعناصر المطلوب تحديدها
- على سبيل المثال اذا تم تحديد نوعية الترانزستور ومصادر الجهد فان عمليات التصميم سوف تحدد المقاومات المطلوبة لتحقيق متطلبات التصميم
- عندما يتم تحديد القيم النظرية (التصميمية) للمقاومات - في جل الاحوال لا تتوافق مع القيم التجارية المعروفة في السوق - في هذه الحالة يتم اختيار القيم القياسية التجارية الاقرب الى القيمة النظرية.

- أية تغيرات تحدث نتيجة لعدم استخدام القيم النظرية للمقاومات فإن ذلك يعتبر مقبولا كجزء من التصميم.

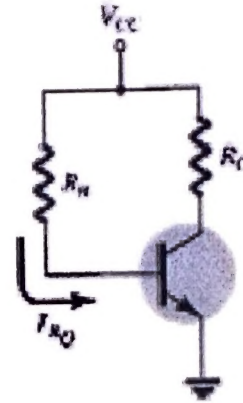
سنقوم الآن بحل بعض الامثلة التي تغطي جزء تصميم دوائر الترانزستور

مثال:-

من خلال منحنى الخصائص ومقترح الدائرة المبين في الشكل التالي اوجد كل من V_{CC} و R_B و R_C .



(a)



(b)

من خصائص خط الحمل يمكن ايجاد الاتي:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

$$= \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{40 \mu\text{A}} = \frac{19.3 \text{ V}}{40 \mu\text{A}}$$

$$= 482.5 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CC} = 20 \text{ V}$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Big|_{V_{CE} = 0 \text{ V}}$$

$$V_{CC} = 20 \text{ V}$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Big|_{V_{CE} = 0 \text{ V}}$$

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{20 \text{ V}}{8 \text{ mA}} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

Standard resistor values:

$$R_C = 2.4 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 470 \text{ k}\Omega$$

Using standard resistor values gives

$$I_B = 41.1 \text{ }\mu\text{A}$$

which is well within 5% of the value specified.

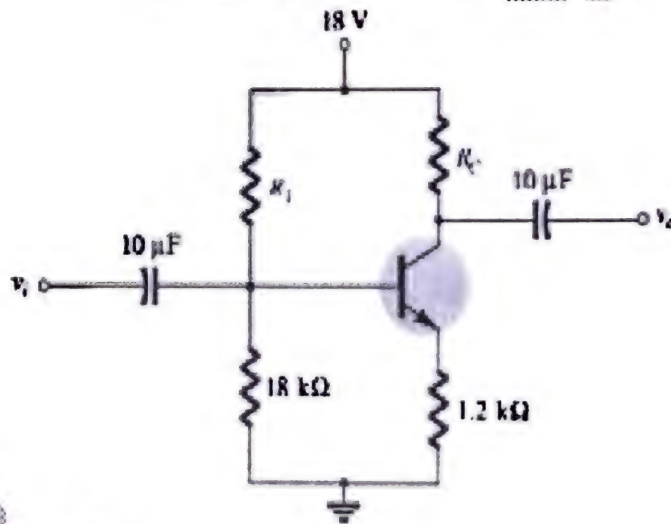
مثال:-

من خلال المعطيات التالية

$$I_{CQ} = 2 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = 10 \text{ V}$$

أوجد قيمة المقاومات R_C و R_B لمقترح الدائرة المبينة في الشكل التالي:



الحل:-

$$V_E = I_E R_E \cong I_C R_E$$

$$= (2 \text{ mA})(1.2 \text{ k}\Omega) = 2.4 \text{ V}$$

$$V_B = V_{BE} + V_E = 0.7 \text{ V} + 2.4 \text{ V} = 3.1 \text{ V}$$

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = 3.1 \text{ V}$$

$$\frac{(18 \text{ k}\Omega)(18 \text{ V})}{R_1 + 18 \text{ k}\Omega} = 3.1 \text{ V}$$

$$324 \text{ k}\Omega = 3.1 R_1 + 55.8 \text{ k}\Omega$$

$$3.1 R_1 = 268.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{268.2 \text{ k}\Omega}{3.1} = 86.52 \text{ k}\Omega$$

ج.1

$$R_C = \frac{V_{R_C}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}$$

$$V_C = V_{CE} + V_E = 10 \text{ V} + 2.4 \text{ V} = 12.4 \text{ V}$$

$$R_C = \frac{18 \text{ V} - 12.4 \text{ V}}{2 \text{ mA}}$$

$$= 2.8 \text{ k}\Omega$$

أقرب القيم القياسية للمقاومة ($R_1 = 86.52 \text{ k}\Omega$) هي 82 و 91 كيلو اوم. في هذه الحالة يمكن توصيل مقاومتين قياسيتين على التوالي لتكون اقرب ما يمكن للقيمة النظرية R_1 وهما:

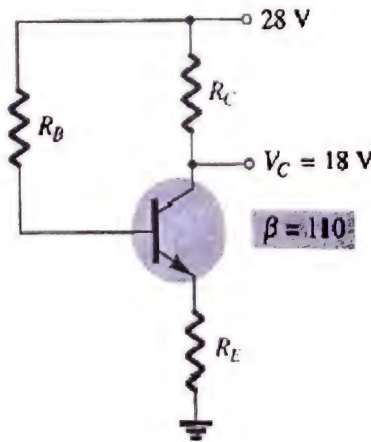
$$R_1 = 82 \text{ k}\Omega + 4.7 \text{ k}\Omega = 86.7 \text{ k}\Omega$$

مثال:-

لدائرة تحيز الباعث المستقرة المبينة في التالي اذا كان

$I_{CQ} = 0.5 I_{C(sat.)}$ $I_{C(sat.)} = 8 \text{ mA}$	$V_C = 18 \text{ V}$ $\beta = 110$
--	---------------------------------------

اوجد كل من R_B , R_E , R_C



$I_{C_Q} = \frac{1}{2} I_{C_{sat}} = 4 \text{ mA}$ $R_C = \frac{V_{R_C}}{I_{C_Q}} = \frac{V_{CC} - V_C}{I_{C_Q}}$ $= \frac{28 \text{ V} - 18 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 2.5 \text{ k}\Omega$ $I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$	$R_C + R_E = \frac{V_{CC}}{I_{C_{sat}}} = \frac{28 \text{ V}}{8 \text{ mA}} = 3.5 \text{ k}\Omega$ $R_E = 3.5 \text{ k}\Omega - R_C$ $= 3.5 \text{ k}\Omega - 2.5 \text{ k}\Omega$ $= 1 \text{ k}\Omega$ $I_{B_Q} = \frac{I_{C_Q}}{\beta} = \frac{4 \text{ mA}}{110} = 36.36 \mu\text{A}$
$I_{B_Q} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$ $R_B + (\beta + 1)R_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B_Q}}$ $R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B_Q}} - (\beta + 1)R_E$	$= \frac{28 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{36.36 \mu\text{A}} - (111)(1 \text{ k}\Omega)$ $= \frac{27.3 \text{ V}}{36.36 \mu\text{A}} - 111 \text{ k}\Omega$ $= 639.8 \text{ k}\Omega$

For standard values:

$$R_C = 2.4 \text{ k}\Omega$$

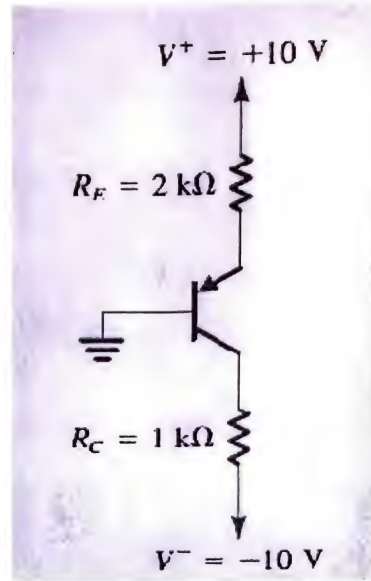
$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 620 \text{ k}\Omega$$

تحليل دوائر الترانزستور – npn Transistor :

تحليل الدوائر التي تحوي الترانزستور (npn) لا تختلف عن طرق التحليل التي سبق تناولها في حالة الترانزستور (npn) الشيء الوحيد هو يجب الانتباه الى اشارات الكميات وبالذات الجهود بالامكان اعادة تحليل الدوائر السابقة باستبدال نوع الترانزستور والاخذ في الاعتبار اشارات الجهود التي تجعل الترانزستور (npn) يعمل في منطقة النشاط.

لنقم بتحليل الدائرة المبينة في الشكل التالي والتي تحوي ترانزستور نوع (npn). لاحظ اشارة مصدر الجهد على كل من الباعث والمجمع. كما نلاحظ من الدائرة ان الباعث موصل بمصدر جهد مقدارة 10 فولت عن طريق المقاومة R_E وان القاعدة موصلة بالجهد الارضي مما يجعل وصلة الباعث – القاعدة في حالة انحياز امامي



اذن جهد الباعث يساوي جهد وصلة الباعث - القاعدة

$$V_E = V_{EB} \approx 0.7 \text{ V}$$

تيار الباعث يكون كالتالي:

$$I_E = \frac{V^+ - V_E}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{2} = 4.65 \text{ mA}$$

وحيث ان المجمع مربوط مع مصدر الجهد السالب عن طريق المقاومة R_C وهو جهد اكثر سالبية من جهد القاعدة وبالتالي فان الترانزستور يعمل في منطقة النشاط اذن تيار المجمع يساوي:

$$I_C = \alpha I_E$$

وبافتراض ان $(\beta = 100)$ ومنها نستطيع حساب قيمة $(\alpha = 0.99)$ ومن خلالها نجد قيمة تيار المجمع.

$$I_C = 0.99 \times 4.65 = 4.6 \text{ mA}$$

جهد المجمع

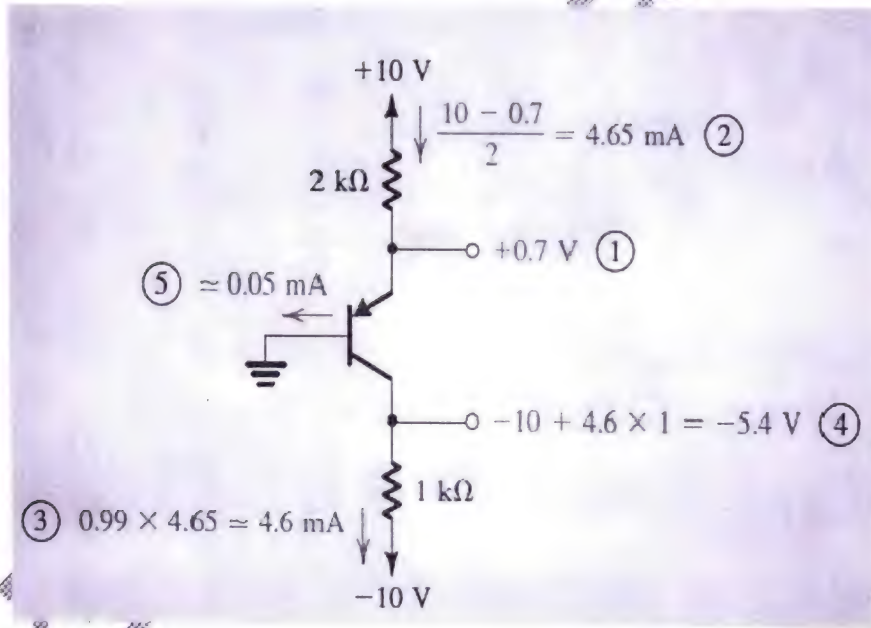
$$V_C = V^- + I_C R_C$$

$$= -10 + 4.6 \times 1 = -5.4 \text{ V}$$

من الواضح الآن ان وصلة الباعث القاعدة في وضع الانحياز العكسي وبالتالي فان الترانزستور يعمل في منطقة النشاط ويمكننا الان حساب تيار القاعدة

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{4.65}{101} \approx 0.05 \text{ mA}$$

ويمكن تلخيص نتائج الحل على الدائرة كما هو مبين في الشكل التالي:



الجدول التالي يبين اهم دوائر التحيز ومعادلات الجهد والتيار الخاصة بها:

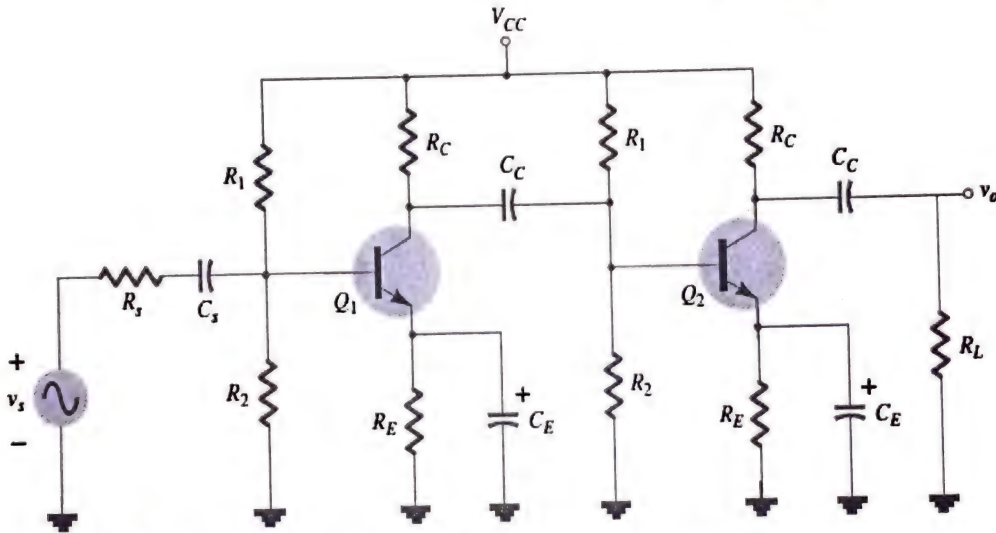
TABLE 4.1
BJT Bias Configurations

Type	Configuration	Pertinent Equations
Fixed-bias		$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ $I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1)I_B$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$
Emitter-bias		$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$ $I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1)I_B$ $R_E = (\beta + 1)R_E$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$
Voltage-divider bias		<p>EXACT: $R_{Th} = R_1 R_2, E_{Th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$ APPROXIMATE: $\beta R_E \geq 10 R_2$</p> $I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$ $I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1)I_B$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ <p>APPROXIMATE: $V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}, V_E = V_B - V_{BE}$</p> $I_E = \frac{V_E}{R_E}, I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$
Collector-feedback		$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$ $I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1)I_B$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$
Emitter-follower		$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$ $I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1)I_B$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_E$
Common-base		$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$ $I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}, I_C = \beta I_B$ $V_{CE} = V_{EE} + V_{CC} - I_E(R_C + R_E)$ $V_{CB} = V_{CC} - I_C R_C$

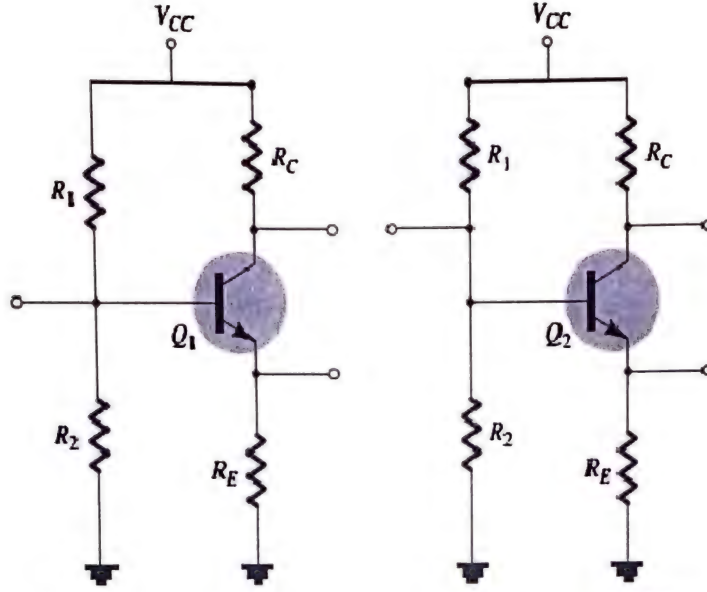
دوائر الترانزستور متعددة المراحل (أو الدوائر التي تحوي أكثر من ترانزستور) – Multiple : BJT network

في هذا الجزء سوف نتناول تحليل الدوائر التي تحوي أكثر من ترانزستور – تحت تأثير الجهد المستمر سوف نطبق نفس أسلوب التحليل الذي تم استخدامه في دوائر المرحلة الواحدة المكونة من ترانزستور واحد – هذه المراحل يتم ربطها ببعضها عن طريق مكثفات وهو ما يعرف بـ (RC coupling) أو توصيل مباشرة بحيث يتم ربط خرج المرحلة الأولى بخرج المرحلة الثانية.

الدائرة المبينة في الشكل التالي توضح هذا النوع من الدوائر التي تحوي أكثر من مرحلة وكل مرحلة هي عبارة عن دائرة مجزئي الجهد التي سبق التعامل معها وتحليلها. مكثف الربط (C_C) والمكثفات الأخرى في الدائرة يتم اعتبارها دوائر مفتوحة وبالتالي تكون الدائرة الناتجة كما هو مبين في الشكل الثاني وبالتالي يتم إيجاد الجهود والتيارات لكل مرحلة على حده.



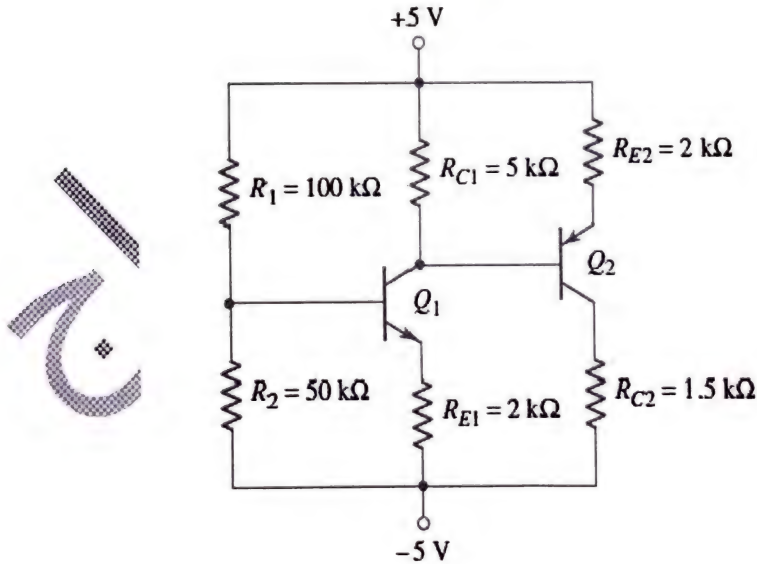
كل انواع دوائر التحيز التي تمت دراستها يمكن ربطها لتكوين أكثر من مرحلة ويتم نفس طرق واساليب التحليل السابقة.



مثال:-

لدائرة الترانزستور المكون من مرحلتين ونوعي الترانزستور ثنائي القطبية (npn & pnp) كما هو مبين في اوجد الجهد لكل عقدة والتيار في كل فرع افرض ان الترانزستوران من السيليكون والمعامل $(\beta = 100)$ لكليهما.

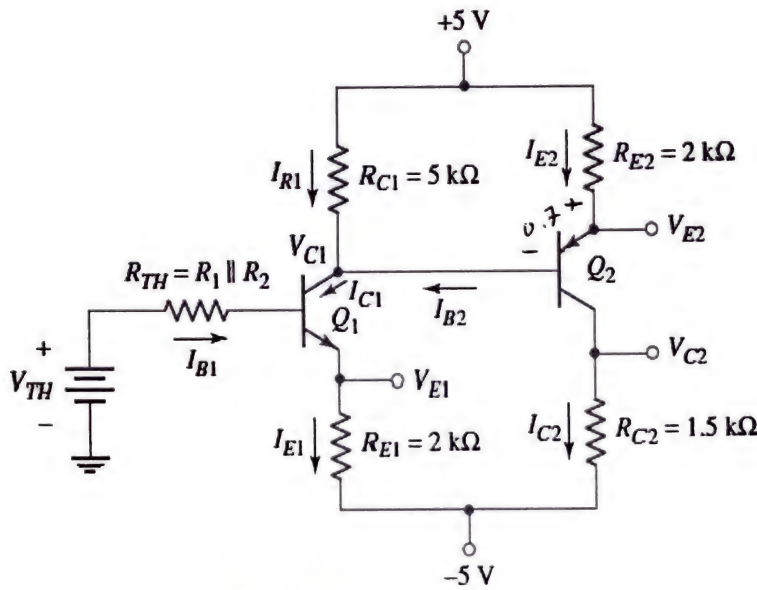
الحل:- افرض ان كل من الترانزستورين يعمل في منطقة النشاط



كما نلاحظ ان دائرة المرحلة الاولى هي عبارة عن دائرة مجزئي الجهد الامر الذي يتطلب تحويل جزء الدخل الى مسار مغلق باستخدام نظرية ثيفنن ويتم اعادة رسم الدائرة ويتم بيان التيارات والجهود على النحو التالي:

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2 = 100 \parallel 50 = 33.3 \text{ k}\Omega$$

$$V_{TH} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) (10) - 5 = \left(\frac{50}{150} \right) (10) - 5 = -1.67 \text{ V}$$



بتطبيق قانون كيرشوف للجهد حول المسار (القاعدة - الباعث) للترانزستور (Q_1) نحصل على:

$$V_{TH} = I_{B1} R_{TH} + V_{BE} (\text{on}) + I_{E1} R_{E1} - 5$$

لاحظ ان

$$I_{E1} = (1 + \beta) I_{B1}$$

بالتعويض بهذه العلاقة وقيم معاملات الدائرة في المعادلة السابقة سوف على قيمة تيار القاعدة للترانزستور الاول

$$I_{B1} = \frac{-1.67 + 5 - 0.7}{33.3 + (101)(2)} \Rightarrow 11.2 \mu A$$

ومن ثم نستطيع الحصول على تيارات المجمع والباعث لترانزستور المرحلة الاولى

$$I_{C1} = 1.12 \text{ mA} \quad I_{E1} = 1.13 \text{ mA}$$

مجموع التيارات حول مجمع الترانزستور الاول هو

$$I_{R1} + I_{B2} = I_{C1}$$

$$\frac{5 - V_{C1}}{R_{C1}} + I_{B2} = I_{C1}$$

تيار القاعدة للترانزستور الثاني (Q_2)

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{1 + \beta} = \frac{5 - V_{E2}}{(1 + \beta)R_{E2}} = \frac{5 - (V_{C1} + 0.7)}{(1 + \beta)R_{E2}}$$

بالتعويض بقيمة تيار القاعدة للترانزستور الثاني في المعادلة السابقة نحصل على

$$\frac{5 - V_{C1}}{R_{C1}} + \frac{5 - (V_{C1} + 0.7)}{(1 + \beta)R_{E2}} = I_{C1} = 1.12 \text{ mA}$$

ومن هذه العلاقة نحصل على جهد المجمع للترانزستور الاول

$$V_{C1} = -0.482 \text{ V}$$

ثم نحصل على تيار المقاومة على مجمع الترانزستور الاول

$$I_{R1} = \frac{5 - (-0.482)}{5} = 1.10 \text{ mA}$$

ايجاد جهد الباعث للترانزستور الثاني على النحو التالي

$$V_{E2} = V_{C1} + V_{EB}(\text{on}) = -0.482 + 0.7 = 0.218 \text{ V}$$

ثم إيجاد تيار الباعث للترانزستور الثاني

$$I_{E2} = \frac{5 - 0.218}{2} = 2.39 \text{ mA}$$

كذلك تيار المجمع للترانزستور الثاني

$$I_{C2} = \left(\frac{\beta}{1 + \beta} \right) I_{E2} = \left(\frac{100}{101} \right) (2.39) = 2.37 \text{ mA}$$

وتيار القاعدة

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{1 + \beta} = \frac{2.39}{101} \Rightarrow 23.7 \mu\text{A}$$

حساب الجهود:

$$V_{E1} = I_{E1} R_{E1} - 5 = (1.13)(2) - 5 \Rightarrow V_{E1} = -2.74 \text{ V}$$

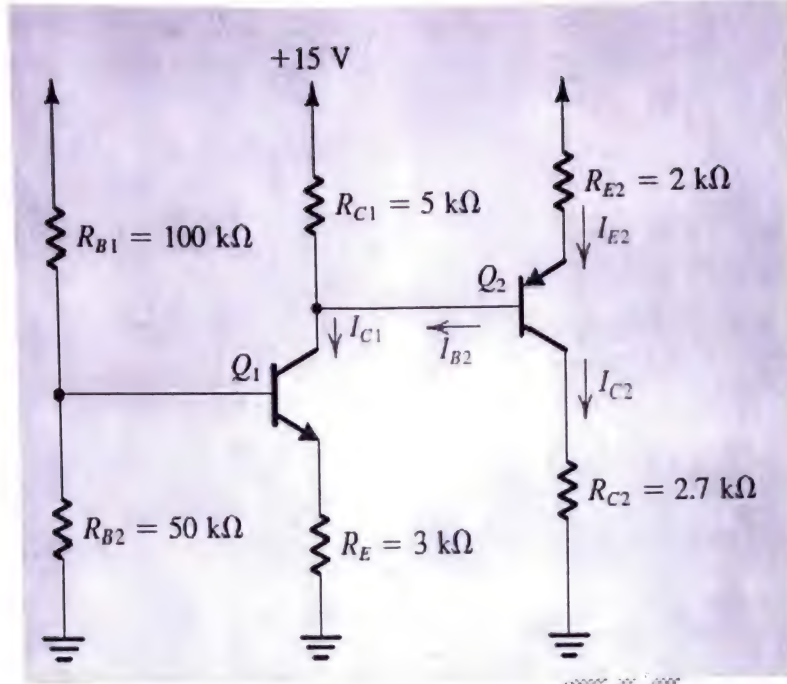
$$V_{C2} = I_{C2} R_{C2} - 5 = (2.37)(1.5) - 5 = -1.45 \text{ V}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = -0.482 - (-2.74) = 2.26 \text{ V}$$

$$V_{EC2} = V_{E2} - V_{C2} = 0.218 - (-1.45) = 1.67 \text{ V}$$

مثال:-

لدائرة الترانزستور المكونة من مرحلتين المرحلة الاولى بها ترانزستور نوع (npn) والمرحلة الثانية بها ترانزستور نوع (pnp) المبينة في الشكل التالي اوجد الجهود عند كل عقدة والتيارات في كل فرع.



الحل:-

المرحلة الاولى من هذه الدائرة هي عبارة عن دائرة مجزئ الجهد التي تعرفنا على طريقة حلها وبتابع نفس الخطوات بامكاننا الحصول على التيارات والجهود حسب التالي:

$$V_{B1} = +4.57 \text{ V} \quad I_{E1} = 1.29 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = 0.0128 \text{ mA} \quad I_{C1} = 1.28 \text{ mA}$$

من خلال الدائرة نلاحظ ان تيار المجمع للترانزستور (Q1) هو عبارة عن مجموع التيار المار في المقاومة (RC1) والتيار القاعدة للترانزستور (Q2) فاذا افترضنا ان تيار قاعدة الترانزستور (Q2) صغير جدا بالمقارنة مع تيار المجمع (IC1) وبالتالي يمكن اعتبار ان التيار المار في المقاومة (RC1) هو عبارة عن تيار مجمع ترانزستور المرحلة الاولى ومن خلاله يمكن حساب جهد المجمع للترانزستور (Q1) على النحو التالي:

$$\begin{aligned} V_{C1} &\simeq +15 - I_{C1}R_{C1} \\ &= 15 - 1.28 \times 5 = +8.6 \text{ V} \end{aligned}$$

جهد الباعث للترانزستور (Q2) يساوي:

$$V_{E2} = V_{C1} + V_{EB}|_{Q_2} \approx 8.6 + 0.7 = +9.3 \text{ V}$$

تيار الباعث للترانزستور (Q_2)

$$I_{E2} = \frac{+15 - V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{15 - 9.3}{2} = 2.85 \text{ mA}$$

تيار المجمع

$$\begin{aligned} I_{C2} &= \alpha_2 I_{E2} \\ &= 0.99 \times 2.85 = 2.82 \text{ mA} \quad (\text{assuming } \beta_2 = 100) \end{aligned}$$

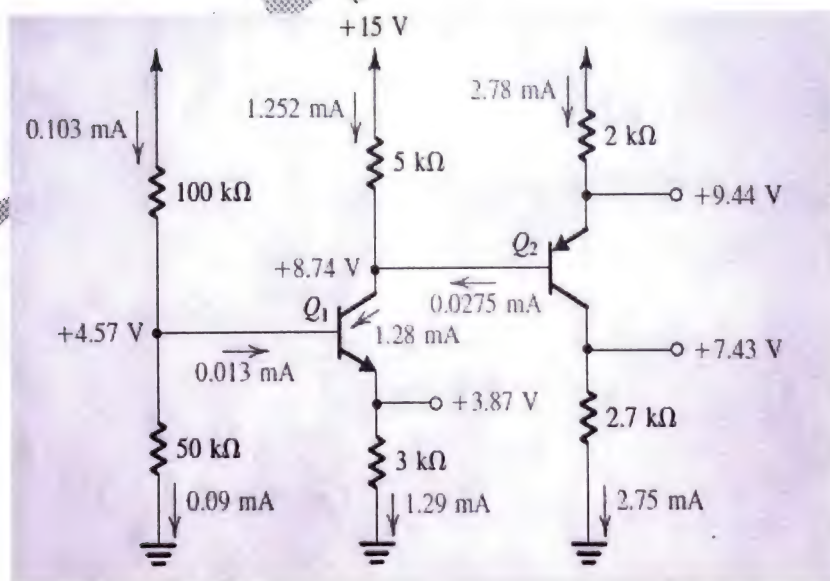
جهد المجمع

$$V_{C2} = I_{C2} R_{C2} = 2.82 \times 2.7 = 7.62 \text{ V}$$

تيار القاعدة

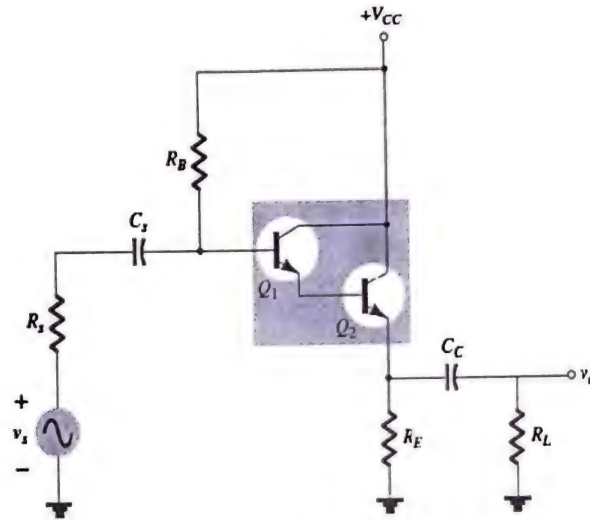
$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1} = \frac{2.85}{101} = 0.028 \text{ mA}$$

الشكل التالي يبين النتائج التي تم التوصل إليها على الدائرة

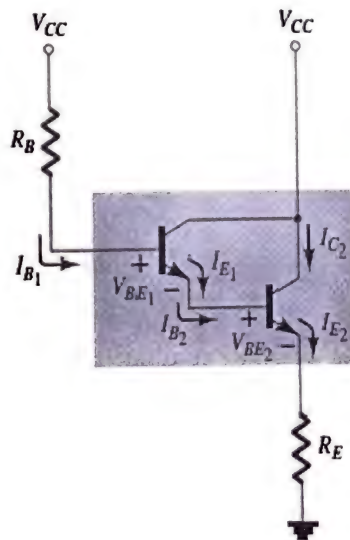


دائرة دارلنجتون - زوج دارلنجتون (Darlington Pair or Darlington configuration)

زوج دارلنجتون هو عبارة عن ترانزستوران يصنعان معا ويعملان كأنهما ترانزستور واحد حيث يتميز هذا الترانزستور بكبر قيمة (β_{DP}) ويسمى كذلك (super beta transistor). كما يتميز هذا النوع بان له مقاومة دخل عالية. من خلال الشكل يتضح ان مجمعا الترانزستورين مربوطان معا في حين باعث الترانزستور الاول مربوط مع قاعدة الترانزستور الثاني.



لتحليل هذه الدائرة تحت تأثير الجهد المستمر يتم تطبيق نفس القواعد التي شرحها في السابق ويعاد رسم الدائرة على النحو التالي:



$$I_{B_2} = I_{E_1} = (\beta_1 + 1)I_{B_1}$$

$$I_{E_2} = (\beta_2 + 1)I_{B_2} = (\beta_2 + 1)(\beta_1 + 1)I_{B_1}$$

بافتراض ان $(\beta \geq 1)$ اذن يمكن تعريف بيتا لزوج دارلنجتون حسب التالي

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2$$

ويمكن حساب التيارات والجهود حسب التالي:

$$I_{B_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE_1} - V_{BE_2}}{R_B + (\beta_D + 1)R_E}$$

$$V_{BE_D} = V_{BE_1} + V_{BE_2}$$

$$I_{B_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE_D}}{R_B + (\beta_D + 1)R_E}$$

$$I_{C_2} \cong I_{E_2} = \beta_D I_{B_1}$$

$$V_{E_2} = I_{E_2} R_E$$

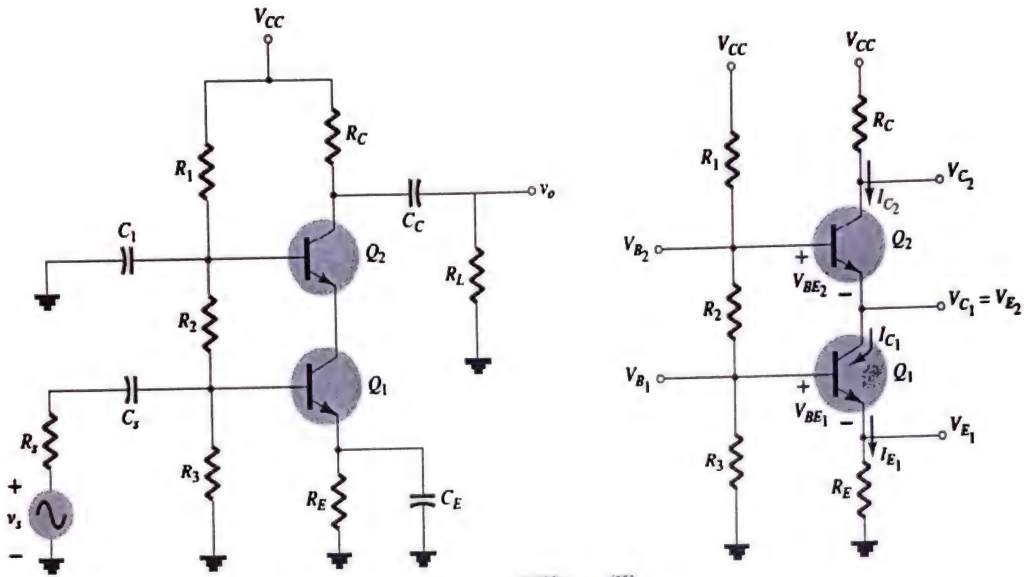
$$V_{C_2} = V_{CC}$$

$$V_{CE_2} = V_{C_2} - V_{E_2}$$

$$V_{CE_2} = V_{CC} - V_{E_2}$$

الربط على التوالي – Cascode Configuration

الشكل التالي يبين هذا النوع من الدوائر حيث يتم ربط الباعث للترانزستور مع المجمع للترانزستور الثاني وتعتبر هذه الدائرة عبارة عن دائرة مجزئ الجهد وهذا النوع من الدوائر يتميز بكسب عالي للجهد.



عند تحليل الدائرة تحت تأثير الجهد المستمر نقوم بنفس خطوات التحليل التي تم التعرف عليها في السابق وبالتالي تصبح الدائرة كما في الشكل على اليمين.

الخطوة الاولى في التحليل تأتي بافتراض ان التيار الما في المقاومات (R_3 , R_2 , R_1) كبير بالمقارنة مع القاعدة لكل ترانزستور ومن ذلك

$$I_{R_1} \cong I_{R_2} \cong I_{R_3} \gg I_{B_1} \text{ or } I_{B_2}$$

وبالتالي يمكن ايجاد الجهد على قاعدة كل ترانزستور على النحو التالي:

$$V_{B_1} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC}$$

$$V_{B_2} = \frac{(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC}$$

من ذلك يمكن حساب جهد الباعث لكل ترانزستور

$$V_{E_1} = V_{B_1} - V_{BE_1}$$

$$V_{E_2} = V_{B_2} - V_{BE_2}$$

تيارات الباعث والمجمع يمكن حسابهم على النحو التالي:

$$I_{C_2} \cong I_{E_2} \cong I_{C_1} \cong I_{E_1} = \frac{V_{B_1} - V_{BE_1}}{R_{E_1}}$$

الجهد على كل مجمع

$$V_{C_1} = V_{B_2} - V_{BE_2}$$

$$V_{C_2} = V_{CC} - I_{C_2} R_C$$

التيار خلال المقاومات:

$$I_{R_1} \cong I_{R_2} \cong I_{R_3} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_3}$$

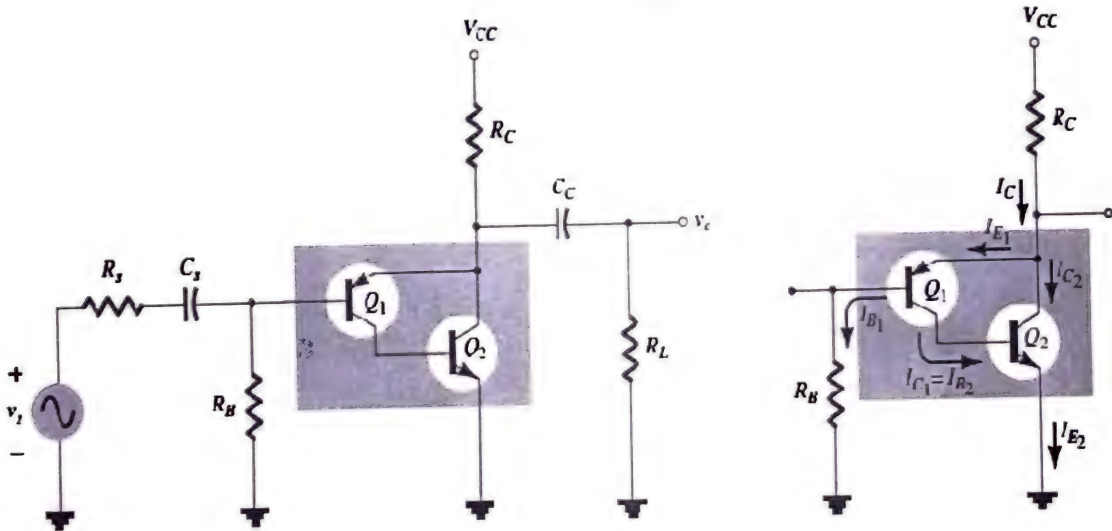
واخيرا تيار القاعدة لكل ترانزستور

$$I_{B_1} = \frac{I_{C_1}}{\beta_1}$$

$$I_{B_2} = \frac{I_{C_2}}{\beta_2}$$

زوج التغذية العكسية - Feedback Pair

في هذه الدائرة يتم استخدام ترانزستورين من نوعين مختلفين (npn) و (pnp) ويتم ربطهما كما هو مبين في الشكل التالي على اليسار وتتميز هذه الدائرة بالكسب العالي والاستقرارية.



يتم نفس الطرق التي تم شرحها عند تحليل الدوائر تحت تأثير الجهد المستمر ومنها نحصل على الدائرة المكافئة على يمين الشكل ثم نقوم ببيان اتجاه التيارات عليها.

$$I_{B_2} = I_{C_1} = \beta_1 I_{B_1}$$

$$I_{C_2} = \beta_2 I_{B_2}$$

$$I_{C_2} \cong I_{E_2} = \beta_1 \beta_2 I_{B_1}$$

تيار المجمع

$$I_C = I_{E_1} + I_{E_2}$$

$$\cong \beta_1 I_{B_1} + \beta_1 \beta_2 I_{B_1}$$

$$= \beta_1 (1 + \beta_2) I_{B_1}$$

$$I_C \cong \beta_1 \beta_2 I_{B_1}$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد للجزء الایسر من الدائرة ابتداء من المصدر الى الارضي نحصل على التالي:

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{EB_1} - I_{B_1} R_B = 0$$

$$V_{CC} - V_{EB_1} - \beta_1 \beta_2 I_{B_1} R_C - I_{B_1} R_B = 0$$

$$I_{B_1} = \frac{V_{CC} - V_{EB_1}}{R_B + \beta_1 \beta_2 R_C}$$

جهود قاعدتي الترانزستوران

$$V_{B_1} = I_{B_1} R_B$$

$$V_{B_2} = V_{BE_2}$$

The collector voltage $V_{C_2} = V_{E_1}$ is

$$V_{C_2} = V_{CC} - I_C R_C$$

d

$$V_{C_1} = V_{BE_2}$$

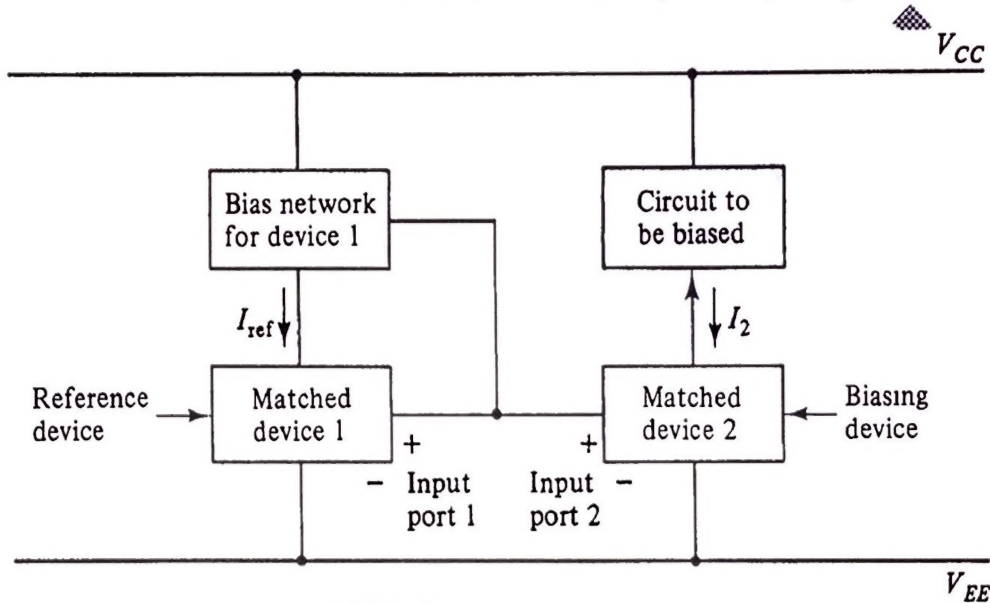
$$V_{CE_2} = V_{C_2}$$

$$V_{EC_1} = V_{E_1} - V_{C_1}$$

$$V_{EC_1} = V_{C_2} - V_{BE_2}$$

مرآة التيار – Current Mirrors :-

يبين الشكل التالي الرسم الصندوقي لدائرة مرآة التيار ومكوناتها



اذن هذه الدائرة عبار عن دائرة جهد مستمر تستخدم لتحيز دائرة اخرى حيث ان التيار المار في الحمل يتم التحكم فيه بتيار اخر في نقطة اخرى من الدائرة وبالتالي فان ذلك التيار يتغير هبوطا وصعودا حسب التيار الاخر.

في هذه الدائرة يجب ان يكون الترانزستوران في تطابق تام ويتم توصيلهما ظهرا لظهر اي بمعنى توصيل قاعدتي الترانزستوران معا ويتم توصيل مجمع احد الترانزستوران بالقاعدة المشتركة لكليهما.

الدائرة المبينة في الشكل التالي تبين كيفية وصل الترانزستوران مع بعضهما واتجاه التيارات في الدائرة بالإضافة الى منحني خصائص الدخل للدائرتين كما هو مبين في الشكل على اليمين كما نلاحظ ان الفرق بين هذه الدائرة ودائرة الرسم الصندوقي هو توصيل الباعث بالارضى ($V_{EE} = 0$).

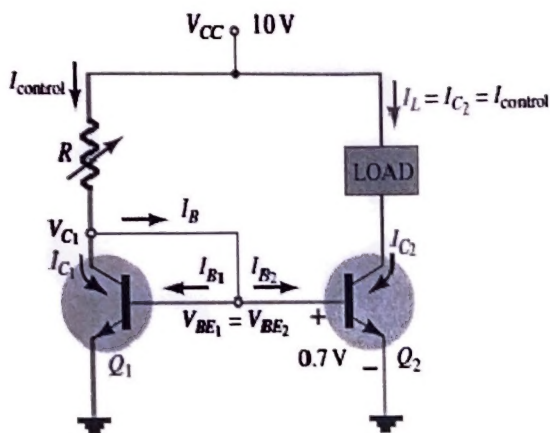


FIG. 4.74

Current mirror using back-to-back BJTs.

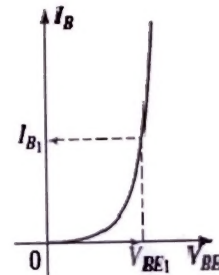


FIG. 4.75

Base characteristics for transistor Q_1 (and Q_2).

بافتراض ان Q_1 & Q_2 متطابقان ان

$$V_{BE1} = V_{BE2}$$

$$I_{B1} = I_{B2}$$

من خلال الدائرة يمكن الحصول على العلاقات التالية:

$$I_B = I_{B1} + I_{B2}$$

$$I_{B1} = I_{B2}$$

$$I_B = I_{B1} + I_{B1} = 2I_{B1}$$

$$I_{\text{control}} = I_{C1} + I_B = I_{C1} + 2I_{B1}$$

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1}$$

$$I_{\text{control}} = \beta_1 I_{B1} + 2I_{B1} = (\beta_1 + 2)I_{B1}$$

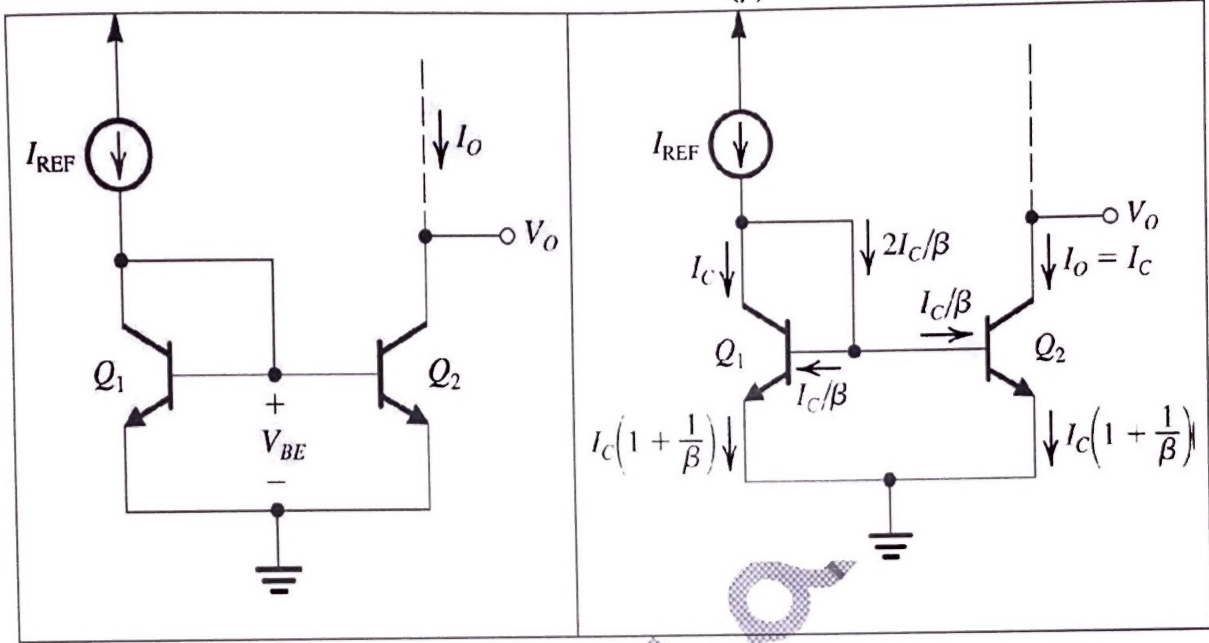
and since β_1 is typically $\gg 2$, $I_{\text{control}} \cong \beta_1 I_{B1}$

or

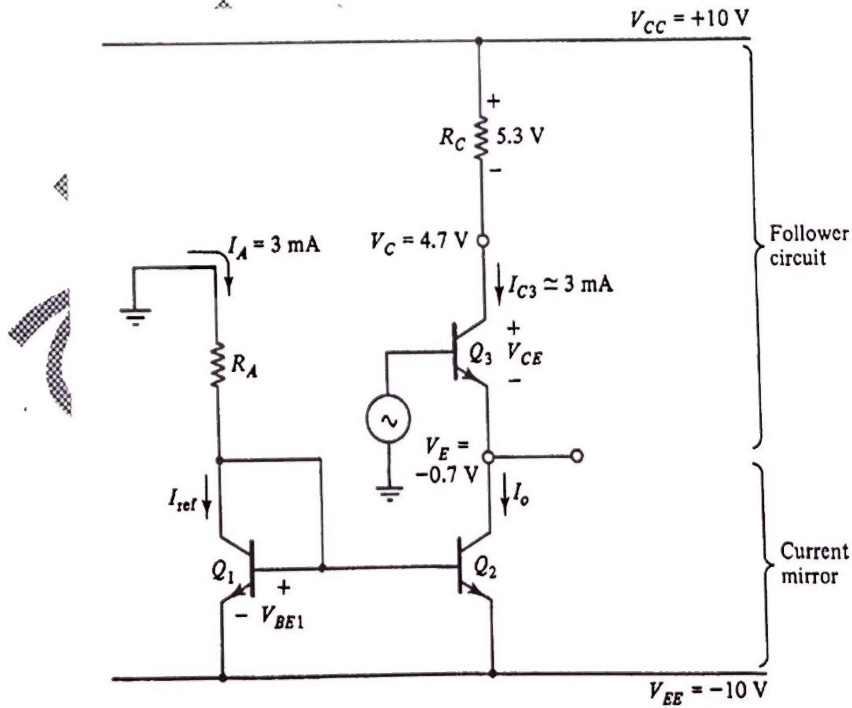
$$I_{B1} = \frac{I_{\text{control}}}{\beta_1}$$

$$I_{\text{control}} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

الدائرة التالية مبين عليها التيارات بدلالة (β)



مثال:- للدائرة المبينة في الشكل التالي اوجد القدرة المبذودة في كل ترانزستور اذا كان $I_{C3} = 3 \text{ mA}$ و $(V_{CE} = 5.4 \text{ V})$.



الحل:-

$$I_{C3} \cong I_o = I_{REF} \cong I_A$$

$$I_A = \frac{0V - (V_F + V_{EE})}{R_A}$$

$$R_A = \frac{-V_F - V_{EE}}{I_{REF}} = \frac{-0.7V - (-10V)}{3mA} = 3.1k\Omega$$

$$V_E = -0.7V; \text{ To achieve } V_{CE} = 5.4V, V_C = 4.7V$$

$$V_{CC} - V_C = 10V - 4.7V = 5.3V$$

$$R_C = \frac{5.3V}{3mA} = 1.8k\Omega$$

The DC power in each transistor is given by:

$$P_Q = I_C V_{CE} + I_B V_{BE} \cong I_C V_{CE}$$

$$P_{Q1} = (3mA)(0.7V) = 0.2mW$$

$$P_{Q2} = (3mA)[-0.7V - (-10V)] \cong 28mW$$

$$P_{Q3} = (3mA)(5.4V) = 16mW$$